

MASALAH *GROUND-HOLDING* DENGAN DUA TERMINAL DALAM PENGENDALIAN LALU LINTAS UDARA

W. PRASETYO¹, F. HANUM², P. T. SUPRIYO²

Abstrak

Setiap maskapai penerbangan memiliki strategi untuk meminimumkan biaya penundaan antara lain kebijakan *ground-holding*. Kebijakan ini mampu membuat maskapai untuk menahan pesawatnya di terminal keberangkatan meskipun sudah dijadwalkan untuk lepas landas sehingga setelah sampai di kota tujuan dapat langsung mendarat tanpa harus menunggu di udara. Dalam karya ilmiah ini dibahas tentang penentuan waktu keberangkatan dan kedatangan dari setiap penerbangan yang dapat meminimumkan biaya penundaan. Masalah *ground-holding* dengan dua terminal dalam pengendalian lalu lintas udara dapat diformulasikan menjadi masalah *Pure 0-1 integer linear programming*. Dalam penelitian ini dibahas dua kasus dari kebijakan *ground-holding*. Kasus pertama: seluruh penerbangan dapat menahan pesawatnya di terminal keberangkatan dan dapat tertahan di udara. Kasus kedua: seluruh penerbangan hanya menahan pesawatnya di terminal keberangkatan sehingga pada saat sampai di kota tujuan tidak tertahan di udara. Diberikan simulasi dengan mengasumsikan terdapat 26 penerbangan dan jadwal waktu keberangkatan serta waktu kedatangan dari setiap penerbangan. Jika penerbangan terjadi dari terminal keberangkatan kota awal menuju terminal kedatangan kota tujuan, dengan *integer programming* tersebut akan diperoleh waktu keberangkatan dan waktu kedatangan yang meminimumkan biaya penundaan.

Kata kunci: *ground-holding*, *integer programming*, lalu lintas udara, pesawat terbang

1 PENDAHULUAN

Era globalisasi pada saat ini menjadikan setiap orang memiliki mobilitas yang tinggi, sehingga dibutuhkan alat transportasi yang mampu bergerak dengan cepat. Salah satu alat transportasi tersebut adalah pesawat terbang. Pada saat ini penggunaan pesawat terbang sebagai sarana transportasi semakin meningkat. Terbukti banyak penumpang beralih menggunakan pesawat terbang daripada menggunakan alat transportasi lain seperti bus, kereta api dan kapal laut. Menurut Kepala Badan Pusat Statistik, Suryamin, selama semester pertama tahun 2014 ini, penerbangan domestik melayani 32.8 juta penumpang, naik 4.65% dibandingkan dengan periode yang sama tahun lalu, sedangkan untuk penerbangan internasional mencapai 7.8 juta penumpang atau naik 6.77% dibandingkan periode yang sama tahun 2013 [3]. Peningkatan jumlah pengguna pesawat terbang tersebut terjadi karena pesawat terbang mampu mencapai kota tujuan dengan waktu yang cepat dibandingkan alat transportasi lainnya. Semakin banyak pengguna

¹Mahasiswa Program Sarjana, Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

²Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

pesawat terbang akan mengakibatkan semakin padatnya arus lalu lintas udara. Hal tersebut membuat maskapai mengalami kerugian akibat adanya biaya penundaan di udara atau di setiap bandara. Besarnya biaya tersebut cukup menyulitkan maskapai pesawat terbang. Kebijakan *ground-holding* diharapkan mampu meminimumkan biaya penundaan. Penerbangan hanya terjadi dari terminal keberangkatan ke terminal kedatangan. Hal tersebut yang membuat masalah *ground-holding* dengan dua terminal untuk mengontrol lalu lintas udara berbeda dengan masalah arus lalu lintas udara yang lainnya seperti *air traffic flow management problem* (TFMP) seperti yang terdapat dalam [2]. TFMP mengharuskan setiap penerbangan melewati berbagai wilayah sebelum penerbangan tersebut sampai ke bandara. Wilayah yang dimaksud adalah daerah-daerah yang dilewati oleh pesawat terbang menuju ke kota tujuan. Semakin padat penerbangan yang melewati wilayah yang sama maka penerbangan akan membayar biaya penundaan yang semakin besar. TFMP hanya menggunakan satu terminal pada setiap bandara.

FAA (*The Federal Aviation Administration*) menggunakan kebijakan *ground-holding* untuk meminimumkan biaya penundaan di terminal keberangkatan maupun di udara. Kebijakan *ground-holding* mengharuskan maskapai menahan pesawatnya di terminal keberangkatan meskipun sudah dijadwalkan untuk lepas landas. Pada umumnya, kebijakan *ground-holding* mengharuskan setiap bandara memiliki dua buah terminal yaitu terminal kedatangan dan terminal keberangkatan sehingga arus penerbangan hanya terjadi dari terminal keberangkatan kota awal ke terminal kedatangan kota tujuan. Kebijakan *ground-holding* juga harus disertai dengan besarnya kapasitas terminal keberangkatan agar mampu menampung maskapai sebanyak-banyaknya. Selain itu, biaya penundaan di udara lebih mahal daripada biaya penundaan di terminal keberangkatan karena terdapat biaya ekstra untuk bahan bakar yang digunakan pada saat pesawat tertahan di udara.

Andreatta and Romanin-Jacur [1] hanya meninjau kepadatan lalu lintas udara di satu terminal (yaitu terminal kedatangan) pada suatu bandara pada satu periode waktu dan menyelesaikan masalah *ground-holding* yang meminimumkan biaya penundaan (*delay*) menggunakan pemrograman dinamik. Terrab & Odoni [5] mengembangkannya menjadi masalah *ground-holding* yang melibatkan beberapa periode waktu. Dalam [4] masalah *ground-holding* yang melibatkan satu bandara diformulasikan ke dalam bentuk masalah transportasi dengan menambahkan kendala *banking* (pengelompokan penerbangan sesuai dengan waktu kedatangan). Tidak banyak penelitian tentang masalah *ground-holding* yang melibatkan lebih dari satu bandara. Masalah *ground-holding* dalam pengendalian lalu lintas udara dalam karya ilmiah ini melibatkan lebih dari satu bandara dan dapat diformulasikan menjadi PILP (*Pure 0-1 integer linear programming*). Model dalam penelitian ini dimodifikasi dari [6] kemudian diimplementasikan untuk masalah *ground-holding* yang melibatkan dua terminal. Dalam penelitian ini solusi optimal dari masalah kebijakan *ground-holding* diperoleh dengan menggunakan *software* LINGO.

2 DESKRIPSI MASALAH

2.1 Deskripsi Masalah

Kebijakan *ground-holding* adalah metode yang dilakukan untuk meminimumkan biaya penundaan yang terjadi di terminal keberangkatan dan di udara sebelum mendarat di terminal kedatangan. Biaya penundaan diberikan kepada maskapai yang belum lepas

landas dari terminal keberangkatan padahal sudah melebihi jadwal keberangkatan maskapai tersebut. Biaya penundaan bisa juga diberikan kepada maskapai yang belum mendarat di terminal kedatangan padahal sudah melebihi jadwal kedatangan di terminal kedatangan. Biaya penundaan dikenakan per satu periode waktu. Biaya penundaan di udara lebih besar atau lebih mahal dibandingkan dengan penundaan di darat, karena maskapai harus mengeluarkan tambahan ekstra untuk bahan bakar yang digunakan selama berputar di atas terminal kedatangan sebelum mendarat.

Maskapai pesawat terbang akan lebih memilih untuk menunda keberangkatannya di terminal keberangkatan meskipun sudah melebihi jadwal yang telah ditentukan. Karena kebijakan *ground-holding* adalah cara untuk menahan pesawatnya di terminal keberangkatan sebelum lepas landas, sehingga pada saat pesawat tiba pada tujuannya, pesawat tersebut tidak harus menunggu di udara sebelum mendarat. Pesawat dapat langsung mendarat sehingga tidak dikenakan biaya penundaan di udara melainkan hanya biaya penundaan di terminal keberangkatan saja. Kebijakan *ground-holding* juga mengharuskan bagi setiap bandara untuk memiliki kapasitas terminal keberangkatan yang besar, sehingga semua maskapai pesawat terbang mampu menunda pesawatnya di terminal keberangkatan.

2.2 Formulasi Masalah

Suatu penerbangan berangkat dari terminal keberangkatan kota awal ke terminal kedatangan kota tujuan. Penerbangan yang harus menyelesaikan penerbangan kedua setelah melakukan penerbangan pertama pada hari yang sama menggunakan pesawat yang sama dinamakan penerbangan-yang-dilanjutkan. Penerbangan seperti ini dapat diketahui jika penerbangan f tiba di kota tujuan dan dari kota tersebut akan ada penerbangan selanjutnya ke kota yang lain. Misalkan penerbangan pertama dari kota A ke kota B dan penerbangan kedua dari kota B ke kota C. Hal tersebut berarti penerbangan awal dilanjutkan ke penerbangan selanjutnya. Setelah pesawat tiba di terminal kedatangan, pesawat akan melakukan persiapan untuk penerbangan selanjutnya dan akan ditempatkan di terminal keberangkatan. Di antara dua penerbangan-yang-dilanjutkan akan ada waktu jeda istirahat dan persiapan untuk penerbangan selanjutnya.

Masalah *ground-holding* dengan dua terminal dalam pengendalian lalu lintas udara dapat dinyatakan dalam model PILP (*Pure 0-1 integer linear programming*). Model dideskripsikan dengan melihat jadwal penerbangan yang ada dan akan dihitung biaya minimal dari biaya penundaan. Misalkan $K = \{1, \dots, K\}$ menyatakan himpunan bandara dan $T = \{1, \dots, T\}$ menyatakan himpunan periode waktu, $F = \{1, \dots, F\}$ menyatakan himpunan penerbangan, dan F' menyatakan himpunan penerbangan-yang-dilanjutkan.

Misalkan didefinisikan:

g_f = lama waktu penundaan penerbangan f di terminal keberangkatan,

a_f = lama waktu penundaan penerbangan f di udara pada saat ingin mendarat di terminal kedatangan,

dan variabel keputusan penempatan adalah:

$$u_{ft} = \begin{cases} 1, & \text{jika penerbangan } f \text{ berangkat dari terminal keberangkatan pada waktu } t \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases}$$

$$v_{ft} = \begin{cases} 1, & \text{jika penerbangan } f \text{ berangkat dari terminal kedatangan pada waktu } t \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases}$$

Misalkan didefinisikan:

$D_k(t)$ = kapasitas terminal keberangkatan dari bandara k pada waktu t ,

$R_k(t)$ = kapasitas terminal kedatangan dari bandara k pada waktu t ,

d_f = waktu keberangkatan yang seharusnya dari penerbangan f ,

r_f = waktu kedatangan yang seharusnya dari penerbangan f ,

T_f^d = himpunan waktu yang mungkin untuk keberangkatan penerbangan f pada terminal keberangkatan,

T_f^a = himpunan waktu yang mungkin untuk kedatangan penerbangan f pada terminal kedatangan,

k_f^d = bandara tempat penerbangan f dijadwalkan untuk berangkat,

k_f^a = bandara tempat penerbangan f dijadwalkan untuk datang.

Persamaan untuk T_f^d adalah: $T_f^d = \{t \in T : d_f \leq t \leq \min(d_f + G_f, T)\}$, sedangkan persamaan untuk T_f^a adalah: $T_f^a = \{t \in T : r_f \leq t \leq \min(r_f + G_f + A_f, T)\}$, dengan G_f adalah maksimum periode waktu penerbangan f yang mungkin untuk ditunda di terminal keberangkatan dan A_f adalah maksimum periode waktu penerbangan f yang mungkin untuk ditunda di udara. Biasanya $G_f = 4-5$ dan $A_f = 2-3$ [6].

Variabel yang berkaitan dengan penerbangan yang dilanjutkan didefinisikan sebagai:

$g_{f'}$ = lama waktu penundaan penerbangan f' di terminal keberangkatan,

$a_{f'}$ = lama waktu penundaan penerbangan f' di udara pada saat ingin mendarat di terminal kedatangan,

$s_{f'}$ = waktu yang dibutuhkan untuk penerbangan selanjutnya (waktu jeda di antara dua penerbangan yang dilanjutkan)

Variabel penundaan g_f dan a_f dapat diekspresikan menjadi variabel u_{ft} dan v_{ft} :

$$g_f = \sum_{t \in T_f^d} t u_{ft} - d_f ; f \in F, \quad (1)$$

$$a_f = \sum_{t \in T_f^a} t v_{ft} - r_f - g_f ; f \in F, \quad (2)$$

Persamaan (1) menyatakan bahwa lama waktu penundaan penerbangan f di terminal keberangkatan adalah waktu keberangkatan penerbangan f dari terminal keberangkatan dikurangi dengan waktu keberangkatan yang seharusnya dari penerbangan f . Misalkan penerbangan pertama berangkat dari terminal keberangkatan pada periode waktu $t = 10$, padahal waktu keberangkatan seharusnya dari penerbangan pertama pada periode waktu $t = 6$, jadi lama waktu penundaan penerbangan pertama di terminal keberangkatan selama 4 periode waktu ($g_f = 4$). Persamaan (2) menyatakan bahwa lama waktu penundaan penerbangan f di udara pada saat ingin mendarat di terminal kedatangan adalah waktu kedatangan penerbangan f dikurangi dengan waktu kedatangan yang seharusnya dari penerbangan f dikurangi dengan lama waktu penundaan penerbangan f di terminal keberangkatan. Misalkan penerbangan pertama tiba di terminal kedatangan pada periode waktu 20 dari waktu kedatangan seharusnya pada periode waktu 15 dan lama waktu penundaan di terminal keberangkatan selama 4 periode waktu ($g_f = 4$) jadi lama penundaan penerbangan pertama di udara selama 1 periode waktu ($a_f = 1$).

Tujuan utama dari masalah *ground-holding* dengan dua terminal dalam pengendalian lalu lintas udara adalah meminimumkan biaya penundaan pesawat yang terjadi di bandara dan di udara serta menentukan waktu keberangkatan dan kedatangan penerbangan yang memenuhi kendala-kendala yang ada. Ini berarti fungsi objektif masalah ini ialah meminimumkan biaya penundaan, baik penundaan di terminal keberangkatan maupun penundaan di udara, yaitu $\min z := \sum_{f=1}^F (C_f^g g_f + C_f^a a_f)$, dengan C_f^g ialah biaya penundaan penerbangan f di terminal keberangkatan per periode waktu, dan C_f^a menyatakan biaya penundaan penerbangan f di udara per periode waktu. Dari Persamaan (1) dan (2), maka fungsi objektif tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\min z : \sum_{f=1}^F [(C_f^g - C_f^a)(\sum_{t \in T_f^d} t u_{ft}) + (C_f^a - C_f^g) d_f + C_f^a (\sum_{t \in T_f^a} t v_{ft}) - C_f^a r_f].$$

Kendala-kendala dalam masalah ini meliputi:

1. Kendala kapasitas terminal kedatangan bandara k :

$$\sum_{f: k_f^a=k} v_{ft} \leq R_k(t), \quad (k, t) \in K \times T,$$

2. Kendala kapasitas terminal keberangkatan bandara k :

$$\sum_{f: k_f^d=k} u_{ft} \leq D_k(t), \quad (k, t) \in K \times T.$$

3. Hanya terdapat tepat satu waktu kedatangan penerbangan f di terminal kedatangan bandara k :

$$\sum_{t \in T_f^a} v_{ft} = 1, f \in F$$

4. Hanya terdapat tepat satu waktu keberangkatan penerbangan f di terminal keberangkatan bandara k :

$$\sum_{t \in T_f^d} u_{ft} = 1, f \in F$$

5. Kendala yang muncul akibat adanya hubungan dari penerbangan f' dengan penerbangan f (jika penerbangan f' tiba di kota tujuan dengan lama waktu penundaan $g_{f'} + a_{f'}$, yang melebihi $s_{f'}$, maka penerbangan selanjutnya (penerbangan f) akan tertunda di bandara keberangkatan paling sedikit $g_{f'} + a_{f'} - s_{f'}$) yang dapat ditunjukkan sebagai:

$$g_{f'} + a_{f'} - s_{f'} \leq g_f \quad f' \in F'$$

Kendala tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$\sum_{t \in T_{f'}^a} t v_{f't} - r_{f'} - s_{f'} \leq \sum_{t \in T_f^d} t u_{ft} - d_f.$$

6. Kendala ketaknegatifan bagi a_f , yaitu $a_f \geq 0$, $f \in F$.

3 IMPLEMENTASI MODEL

Model pada Bab 2 diimplementasikan dengan ilustrasi dengan data hipotetik berikut. Misalkan terdapat 26 penerbangan yang diamati dengan biaya penundaan di darat atau di bandara (C_f^g) sebesar 10000 per periode waktu dan biaya penundaan di udara (C_f^a) sebesar 12500 per periode waktu dengan satu periode waktu selama 10 menit serta $T=94$. Misalkan kapasitas terminal keberangkatan ($D_k(t)$) kota A, B, D, E, F, G, H, dan I masing-masing adalah 1 dan kota C sebesar 2 berlaku untuk setiap periode waktu t . Kapasitas terminal kedatangan ($R_k(t)$) kota A, B, C, D, E, F, G, H dan I masing-masing sebesar 1 berlaku untuk setiap periode waktu t . Data jadwal penerbangan beserta himpunan waktu yang mungkin untuk setiap penerbangan tiba di terminal kedatangan (T_f^a) atau berangkat dari terminal keberangkatan (T_f^d) diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1
Jadwal penerbangan

Pener- bang- an (f)	Dari kota	Ke kota	Jadwal kebe- rangkatan (d_f)	Jadwal keda- tangan (r_f)	Himpunan waktu tiba (T_f^d)	Himpunan waktu berangkat (T_f^a)
1	A	C	20	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
2	B	C	21	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
3	D	C	22	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
4	E	C	23	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
5	F	C	23	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
6	G	C	24	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
7	H	C	24	30	{20,21,...,24}	{30,31,...,36}
8	I	C	25	31	{21,22,...,25}	{31,32,...,37}
9	A	C	30	35	{30,31,...,34}	{35,36,...,41}
10	B	C	31	35	{31,32,...,35}	{35,36,...,41}
11	D	C	31	36	{31,32,...,35}	{36,37,...,42}
12	E	C	30	36	{30,31,...,34}	{36,37,...,42}
13	C	A*	50	60	{50,51,...,54}	{60,61,...,66}
14	A	F*	62	72	{62,63,...,66}	{72,73,...,78}
15	F	B	74	84	{74,75,...,78}	{84,85,...,88}
16	D	E*	50	58	{50,51,...,54}	{58,59,...,64}
17	E	G	60	70	{60,61,...,64}	{70,71,...,76}
18	H	I*	50	56	{50,51,...,54}	{56,57,...,62}
19	I	G	58	65	{58,59,...,62}	{65,66,...,71}
20	C	B	80	89	{80,81,...,84}	{89,90,...,94}
21	C	D	80	88	{80,81,...,84}	{88,89,...,94}
22	C	E	81	88	{81,82,...,85}	{88,89,...,94}
23	C	F	82	89	{82,83,...,86}	{89,90,...,94}
24	C	G	83	89	{83,84,...,87}	{89,90,...,94}
25	C	H	81	87	{81,82,...,85}	{87,88,...,93}
26	C	I	82	88	{82,83,...,86}	{88,89,...,94}

Keterangan: * menyatakan penerbangan-yang-dilanjutkan

Penerbangan yang dilanjutkan berjumlah 4 penerbangan yaitu Penerbangan 13 dilanjutkan dengan Penerbangan 14, Penerbangan 14 dilanjutkan dengan Penerbangan 15, Penerbangan 16 dilanjutkan dengan Penerbangan 17, dan Penerbangan 18 dilanjutkan dengan Penerbangan 19. Waktu yang dibutuhkan untuk persiapan penerbangan-yang-dilanjutkan minimal 2 periode waktu dan maksimal 3 periode waktu. Penerbangan hanya terjadi sesuai dengan himpunan waktu yang ada serta sesuai dengan $g_f = 4$ dan $a_f = 2$.

Penyelesaian masalah *ground-holding* dengan dua terminal pada karya ilmiah ini dilakukan dengan memanfaatkan *software* LINGO. Solusi optimal yang didapat dengan nilai optimal fungsi objektifnya sebesar 445000 dan lama waktu penundaan untuk setiap penerbangan dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil tersebut terlihat bahwa total lama waktu penundaan di darat (terminal keberangkatan) sebesar 37 periode waktu, lebih besar dibandingkan dengan total lama waktu penundaan di udara, yaitu sebesar 6 periode waktu.

Tabel 2
Solusi optimal untuk Kasus dengan $g_f = 4$ dan $a_f = 2$

Penerbangan (f)	Lama penundaan di terminal kedatangan (g_f)	Waktu keberangkatan	Lama penundaan di udara (a_f)	Waktu kedatangan
1	3	23	0	33
2	2	23	0	32
3	4	26	1	35
4	1	24	0	31
5	4	27	2	36
6	4	28	0	34
7	0	24	0	36
8	4	29	2	37
9	4	34	0	39
10	3	34	0	38
11	4	35	0	40
12	4	34	1	41
13	0	50	0	60
14	0	62	0	72
15	0	74	0	84
16	0	50	0	58
17	0	60	0	70
18	0	50	0	56
19	0	58	0	65
20	0	80	0	89
21	0	80	0	88
22	0	81	0	88
23	0	82	0	89
24	0	83	0	89
25	0	81	0	87
26	0	82	0	88

Bila lama waktu penundaan penerbangan f di udara bernilai 0 ($a_f = 0$), maka untuk kapasitas terminal kedatangan kota C sebesar 1 tidak diperoleh hasil/solusi yang fisibel. Namun jika kapasitas terminal kedatangan kota C diubah menjadi 2, maka diperoleh solusi optimal masalah *ground holding* dengan nilai fungsi objektif yang meminimumkan biaya penundaan sebesar 110000 dan waktu penundaan untuk setiap penerbangan terdapat di Tabel 3.

Tabel 3

Solusi optimal untuk Kasus dengan $g_f = 4$ dan $a_f = 0$

Pener- bangan (f)	Lama penundaan di terminal kedatangan (g_f)	Waktu kebe- rangkatan	Waktu kedatangan
1	1	21	31
2	3	24	33
3	3	25	33
4	2	25	32
5	0	23	30
6	1	25	31
7	0	24	30
8	0	26	32
9	0	30	35
10	0	31	35
11	0	31	36
12	0	30	36
13	0	50	60
14	0	62	72
15	0	74	84
16	0	50	58
17	0	60	70
18	0	50	56
19	0	58	65
20	0	80	89
21	0	80	88
22	0	81	88
23	0	82	89
24	0	83	89
25	0	81	87
26	0	82	88

4 SIMPULAN

Masalah *ground-holding* dengan dua terminal dalam pengendalian lalu lintas udara bertujuan meminimumkan biaya penundaan yang harus dikeluarkan kepada setiap

penerbangan yang mengalami penundaan. Karya ilmiah ini merupakan penyederhanaan dari permasalahan manajemen arus lalu lintas udara. Masalah *ground-holding* dengan dua terminal dalam pengendalian lalu lintas udara dapat dipandang sebagai suatu model PILP, sehingga untuk meminimumkan biaya penundaan dengan melakukan kebijakan *ground-holding*. Hasil diaplikasikan dengan *software* LINGO.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andreatta G, Romanin-Jacur G. 1987. Aircraft flow management under congestion. *Transportation Science*. 21(4): 249-253.
- [2] Bertsimas D, Petterson SS. 1998. The air traffic flow management problem with enroute capacities. *Opns Res*. 46(3):406-422.
- [3] Helaby S. 2013. Semester I, Jumlah Penumpang Pesawat Meningkat. Tersedia di <http://www.tempo.co/read/news/2014/09/01/090603756/Semester-I-Jumlah-Penumpang-Pesawat-Meningkat>, 1 September 2014.
- [4] Hoffman R, Ball RO. 2000. A comparison of formulations for the single-airport ground-holding problem with banking constraint.
- [5] Terab M, Odoni AR. 1993. Strategic flow management for air traffic control. *Opns Res*. 41(1): 138-152.
- [6] Vranas PB, Bertsimas DJ, Odoni AR. 1994. The multi-airport ground-holding problem in air traffic control. *Opns Res*. 42(2): 249 – 261.

